Die Bedeutung des Filters für die Röntgentiefentherapie.

Von

H. LEMBCKE.

URBAN & SCHWARZENBERG

BERLIN
N., FRIEDRICHSTRASSE 105 b.

WIEN
I, MAXIMILIANSTRASSE 4.

1913.

Die Bedeutung des Filters für die Röntgentiefentherapie.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der hohen medizinischen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

vorgelegt von

H. LEMBCKE

aus Schwerin i. M.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

URBAN & SCHWARZENBERG

BERLIN
N., FRIEDRICHSTRASSE 105b

WIEN
I, MAXIMILIANSTRASSE 4

1913

Copyright 1913 by Urban & Schwarzenberg, Berlin.

Die nachfolgende Arbeit beschäftigt sich mit Wesen und Wirkung des Filters in der Röntgentiefentherapie. Sie bringt in einem ersten Teil die historische Entwicklung der Filtertechnik, berichtet in einem zweiten Teil über eigene biologische Experimente an Pflanzen und Tieren und streift in einem dritten Teil die Bedeutung der Sekundärstrahlung für die Therapie.

I. Historische Entwicklung der Filtertechnik.

Mit der Einführung des Filters wurde die Röntgentiefentherapie in eine Bahn gelenkt, die schon vom rein theoretischen Gesichtspunkte betrachtet, eine große Bedeutung voraussehen ließ.

Schon 1903[1] hatte *Perthes* darauf aufmerksam gemacht, daß „es möglich sein müsse, die Tiefenwirkung bei der Radiotherapie dadurch zu steigern, daß man die weichen von den harten Strahlen durch ein Filter, z. B. durch eine vorgelegte Stanniollage oder eine Schicht Aluminium, trennen und so die Durchdringungsfähigkeit des Strahlengemisches steigern könne. Es sei wünschenswert, exakt zu bestimmen, um wieviel durch den genannten Vorschlag die Grenze der physiologischen Wirkung, insbesondere auf Carcinom, in die Tiefe vorgeschoben wird."

1904 folgte dann seine Hauptarbeit[2], die für die Tiefentherapie von grundlegender Bedeutung war. Sie befaßte sich mit der Bestimmung der Durchlässigkeit menschlichen Gewebes für Röntgenstrahlen. Dabei gelangte er zu den folgenden Ergebnissen:

Die Intensitätsabnahme der Strahlung im Körper erfolgt um so langsamer, je härter die verwendete Röhre ist[3]. „Besser als bei Verwendung möglichst harter Röhren erhält man eine auf die durchdringungsfähigen Strahlen beschränkte Wirkung durch die Filterung der Strahlen. Wenn eine Röntgenstrahlung mehrere gleich dicke und gleichartige Schichten hintereinander durchdringt, so absorbiert die 2. Schicht nicht denselben Bruchteil der sie treffenden Strahlung, wie die erste, vielmehr einen geringeren. *v. Röntgen* hat auf die Erscheinung in seiner zweiten Mitteilung aufmerksam gemacht. Die Erklärung dürfte darin zu finden sein, daß in der tieferen Schicht der

[1] Archiv für klinische Chirurgie. Bd. LXXI, Heft 4.
[2] Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Bd. VIII.
[3] Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Bd. VIII, p. 24.

Charakter des Strahlengemisches ein anderer ist als in einer oberflächlicheren Schicht, weil die leichter absorbierbaren Strahlen in den oberflächlicheren Schichten zurückgehalten werden."

Außerdem fand *Perthes* bei diesen Untersuchungen, daß 1 *cm* Gewebe (ausgenommen Lungengewebe) annähernd die gleiche Dosis absorbiert, wie 1 *cm* Wasser und wie 1 *mm* Aluminium. Da nach den Untersuchungen *Röntgens* eine Strahlung durch die Absorption in einem bestimmten Stoffe die Fähigkeit erlangt, gerade diesen Stoff, wenn er wiederkehrt, relativ am besten zu durchdringen, so glaubte *Walter*[1] daraus die praktische Konsequenz ziehen zu müssen, für die Tiefentherapie einen der Haut möglichst ähnlichen Stoff als Filter zu empfehlen.

Neben *Röntgen* hatte schon *Benoist* früher ausgedehnte Untersuchungen gemacht über den Einfluß, den in die Strahlenbahn eingeschaltete Substanzen auf die Beschaffenheit der Primärstrahlung haben. Er gelangte dabei zu den folgenden Gesetzen[2]:

1. Die specifische Durchlässigkeit einer Substanz ist unabhängig von ihrem Aggregatzustand, d. h. für eine bestimmte Substanz ist sie nur abhängig von deren Masse, nicht aber von dem festen, flüssigen oder gasförmigen Zustand.

2. Die specifische Durchlässigkeit ist unabhängig von der Anordnung der Moleküle (krystallinisch, amorph etc.) oder der Atome.

3. Sie ist unabhängig davon, ob das Atom frei oder gebunden ist, und die Durchlässigkeit einer Mischung oder einer Verbindung läßt sich berechnen aus der Durchlässigkeit der einzelnen, dieselben zusammensetzenden Elemente.

4. Die specifische Durchlässigkeit der Elemente ist eine Funktion ihrer Atomgewichte; je höher das Atomgewicht, umsoweniger durchlässig ist das Element für Röntgenstrahlen.

Es dürfte zweckmäßig sein, die Besprechung der einzelnen, bis jetzt in der Röntgentherapie verwandten Filter in Rücksicht auf diese Gesetze folgendermaßen einzuteilen:

1. Filter, welche bestehen aus Elementen, die auch das tierische Gewebe zusammensetzen, somit aus C, O, H, N, S; wir wollen sie schwache Filter nennen.

Dahin wären somit zu rechnen:

a) Lederfilter oder Haut,

b) Wasserfilter (H, O),

c) Luftfilter (O, N; H, C wenig).

[1] Zur Technik der Röntgentherapie. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Bd. VIII, p. 302.

[2] Referiert in Guilleminot: Rayons X et radiations diverses.

Da die Atomgewichte der beteiligten Elemente sehr niedrig liegen (unter 16), so werden diese Substanzen im Vergleiche zu den in der nächsten Gruppe zu besprechenden für Röntgenstrahlen relativ leicht durchlässig sein, und somit läßt sich a priori sagen, daß sie nur den allerweichsten Anteil einer Strahlung zurückhalten werden.

2. Dem gegenüber steht eine 2. Gruppe von Filtern, die sich durch ihr höheres Atomgewicht auszeichnen.

a) Glas (Ca, Na, K, Si, Fe, Mn),

b) Stanniol,

c) Silber,

d) Aluminium.

Sie werden auch dementsprechend für Röntgenstrahlen weniger durchlässig sein und einen breiteren Teil des Strahlenspektrums (wenn wir uns das Strahlengemisch zerlegt denken) zurückhalten. Wir bezeichnen diese Gruppe als starke Filter.

α) Schwache Filter.

Leder- und Hautfilter.

Wenn man denjenigen Anteil des Strahlengemisches, der in der Haut absorbiert wird, als die Ursache der Schädigung ansah, so mußte es natürlich darauf ankommen, eine künstliche Haut in Form irgendwelcher Präparation, z. B. von Saffianleder oder Menschenleder in die Strahlenbahn einzuschalten. Nahm man diese von der Dicke, oder korrekter ausgedrückt, im Querschnitt von gleichem Masseninhalt eines gleichen Querschnittes der Haut (siehe Gesetz von *Benoist)*, so mußte jetzt in ihm der Strahlenanteil (qualitativ und quantitativ) der Primärstrahlung „hängen bleiben", der ohne Filter in der Haut absorbiert würde, vorausgesetzt, daß diese künstliche Haut sich nicht allzusehr (z. B. durch Austrocknung) von der natürlichen unterscheidet. Die Haut müßte jetzt die Strahlendosis, welche sonst in der nächst tieferen, gleichdicken Schicht absorbiert würde, retinieren, und da hier ceteris paribus die absorbierte Dosis etwas geringer ist als in der darüberliegenden Schicht, so wird sie jetzt bei gleicher Oberflächendosis etwas weniger gefährdet sein.

Aus diesen Überlegungen heraus sehen wir *Pfahler* und *Schamberg* 1906[1] in einer Arbeit über „Strahlenfilter" die Verwendung von Sohlenleder empfehlen. Nach ihren Untersuchungen blieben Kaninchen an den so geschützten Stellen ohne Röntgenverbrennungen, während die gleiche Dosis ohne Filter Ulcera hervorrief.

Auch *Albers-Schönberg* und *Fränkel*, die als erste in Deutschland gynäkologische Leiden mit gefiltertem Röntgenlicht be-

[1] Referiert in: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Bd. X, p. 375.

handelten, verwandten beide Lederfilter. Der Technik *Albers-Schönberg* folgend, haben auch wir früher mit Leder gefiltert, und es ist sicher, daß besonders bei Benutzung mittelweicher Röhren die Haut für Erytheme weniger gefährdet ist. Bei Verwendung harter Röhren kann dem Lederfilter kaum eine besondere Bedeutung zugemessen werden; wenigstens haben wir an unserer Klinik nach den Untersuchungen von *Rominger*[1] in 9% der Fälle trotz möglichst genauer Innehaltung der von *Albers-Schönberg* angegebenen Technik Erytheme gesehen. Dies wird begreiflich, wenn man die unten zu erwähnenden physikalischen Untersuchungen über Penetrationskraft der mit Leder gefilterten weichen, bzw. harten Strahlen berücksichtigt.

Wasserfilter. Untersuchungen über den Wert des Wassers als Filter haben ergeben *(Perthes)*, daß die filternde Kraft von 1 *cm* Wasser der von 1 *cm* Gewebe gleichzusetzen ist. Daß irgend ein Radiologe für seine therapeutischen Zwecke das Wasser als Filter verwendet hätte, ist uns nicht bekannt.

Luftfilter. In Wirklichkeit filtern alle diejenigen Therapeuten mit Luft, welche „ohne Filter" bestrahlen. Nur ist, wenigstens bei dem am meisten üblichen Fokushautabstand von ca. 38 *cm* die filternde Kraft der eingeschalteten Luftsäule so gering, daß ihr praktische Bedeutung nicht zukommt. Anders schon liegt die Sache bei einer Fokushautdistanz von 4—5 *m*, z. B. bei der *Dessauer*schen Methode der Homogenbestrahlung. Hier könnte in der Tat die wesentlich größere Luftsäule als Filter einen gewissen Wert besitzen; doch haben *Dessauer* ganz andere Überlegungen zu diesem Fernabstand geführt. Daß er die Filterwirkung der zwischen Antikathode und Körperoberfläche liegenden Luftmasse nicht als ausreichend betrachtet, geht aus der Tatsache hervor, daß er noch eine 3 *mm* dicke Glasplatte in die Strahlenbahn einschaltet.

β) Starke Filter.

Glasfilter. Die Strahlung wird durch Glas ganz wesentlich gehärtet, denn wie oben schon erwähnt, gehört es in die Gruppe der harten Filter, die sich in ihrer Filterkraft ganz bedeutend von den eben besprochenen weichen Filtern unterscheiden.

Vermöge der relativ hohen Atomgewichte der Elemente, die das Glas zusammensetzen (Na — 23, Si — 38, K — 39, Ca — 40, Fe — 56, Mn — 55), kommt ihm eine sehr starke filternde Kraft zu. Seine Verwendung in der Tiefentherapie scheint somit sehr zweck-

[1] Inaug.-Dissert. Freiburg i. Br. 1911.

mäßig und es ist deshalb begreiflich, daß z. B. die Hallenser Frauenklinik *(Heynemann)* es als Filter benutzte.

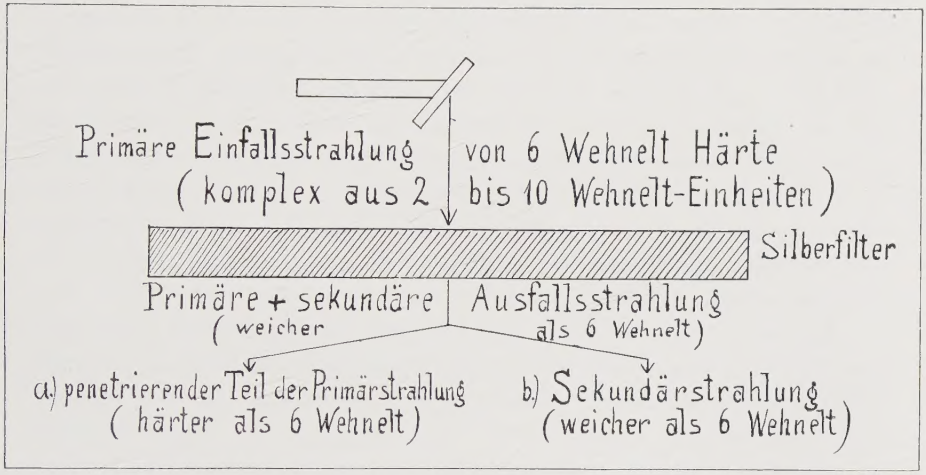
Stanniolfilter.

Wir fanden verschiedentlich in der Literatur, daß Stanniol in der Tiefentherapie als Filter empfohlen wird; genauere Untersuchungen über den Wert derselben sind uns nicht bekannt.

Silberfilter.

Seit 1909 bestrahlt *v. Jaksch*[1] mit einem Silberfilter. Er berichtete damals im Verein deutscher Ärzte in Prag über 19 Fälle von Dauerbestrahlung, bei denen er niemals eine Röntgendermatitis gesehen habe. Über die Brauchbarkeit des Silberfilters in der Tiefentherapie ist sehr viel diskutiert worden. *Walter*[2] machte schon 1904

Fig. 1.



und 1905 darauf aufmerksam, daß nach der *Röntgen*schen Auffassung zwar die Primärbestrahlung durch die Passage des Silberfilters etwas härter werde; „diese Vermehrung an Härte werde aber vollkommen verschleiert durch die Weichheit der specifischen Sekundärstrahlung des vorgeschalteten Silberbleches, so daß also schließlich die Gesamthärte sozusagen das Mittel aus der der (penetrierenden) direkten Strahlen und der der Sekundärstrahlen werde".

Man könnte sich den Vorgang der Silberfilterung vielleicht folgendermaßen vorstellen (siehe Fig. 1).

Die komplexe Einfallsstrahlung, welche sich aus Strahlen von 2—10 We. Härte zusammensetzt und in toto eine Härte von ca. 6 We. zeigt, penetriert z. T. das Silberfilter; die weicheren Strahlen werden

[1] Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Bd. XIII, p. 344.

[2] Über das Röntgensche Absorptionsgesetz und seine Erklärung. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Bd. VIII, p. 301.

im Silber retiniert. Es wird dann die Gesamthärte der das Filter penetrierenden Primärstrahlen mehr als 6 We. betragen.

Die im Filter absorbierte Strahlung dagegen wird z. T. in Sekundärstrahlung transformiert, die nach *Walter* beim Silber außerordentlich weich ist. Tritt diese in ihrer Intensität gegenüber der Intensität der härteren penetrierenden Primärstrahlung in den Vordergrund, so kann die Gesamthärte der Filterausfallsstrahlung geringer sein als die der Primärstrahlung. Trotz dieser Einwände *Walters* filtriert *v. Jaksch*, wie er auf dem letzten 8. Röntgenkongreß noch angab[1], auch jetzt noch mit Silber; er verwendet eine 0·02 *mm* dicke Platte.

Ganz andere Überlegungen brachten *Johnen*[2] dazu, bei seiner Therapie der Ulcera des Digestionstractus Silberfilter zu verwerten. Er benutzte Silber als Präcipitat mit Brei vermischt (innerlich gegeben), um so durch die eine Art der Sekundärstrahlung des Filters, die von *Barkla* sogenannte corpusculäre Strahlung, die dem Brei direkt anliegenden Ulcera ganz intensiv zu beeinflussen. Er meint, bis jetzt sehr gute Resultate damit erzielt zu haben. Angeregt zu dieser neuen Technik hatten ihn die *Barkla*schen Untersuchungen über Sekundärstrahlung, auf die wir noch weiter unten zu sprechen kommen werden.

Aluminiumfilter.

Kurz nachdem *Perthes*[2] seine Untersuchungen über die Penetrationskraft verschiedener Strahlungsarten veröffentlicht hatte (1904), machte *Walter*[3] darauf aufmerksam, daß das von jenem Autor empfohlene Aluminium für Tiefentherapie besonders geeignet sei. Es sei — meinte er — derjenige Teil der Primärstrahlung, der das Aluminiumfilter passiere, wie beim Silberfilter, härter als die Einfallsstrahlung; aber auch die Sekundärstrahlung dieses Metalls sei erheblich härter als die primäre, so daß die Ausfallsstrahlung in toto härter sei als die Einfallsstrahlung; diese Eigenschaft unterscheide das Aluminium also sehr wesentlich vom Silber.

In einer Untersuchung über die „relativ selektive Absorption der Röntgenstrahlen in gewissen Metallen" hat *Adams*[4] die Beobachtung gemacht, daß diejenigen Röntgenstrahlen, die den im magnetischen Feld am stärksten ablenkbaren Kathodenstrahlen ihren Ursprung verdanken (dies sind, wie wir wissen, die weichsten Röntgen-

---

[1] Ref. Zentralblatt für Röntgenstrahlen etc. 1912, p. 254.

[2] Archiv of the Roentgen-Ray. September 1911, p. 157.

[3] Referiert in: Über das Röntgensche Absorptionsgesetz und seine Erklärung. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Bd. VIII, p. 301.

[4] Referiert in: Le Radium. 1908, p. 173.

strahlen), durch Aluminium stärker absorbiert werden als durch Silber. Auch diese Beobachtung würde zu gunsten des Aluminiumfilters (in der Anwendung für Tiefentherapie) sprechen.

Bordier und *Guilleminot* scheinen die ersten zu sein, welche in größerem Umfange mit Aluminiumfilter bestrahlten.

Bordier[1] berichtet 1909 über drei geheilte Fälle von Myom, die mit Aluminium bestrahlt wurden. Später bespricht er sehr ausführlich[2] zehn geheilte Fälle von Myom, die während einer Serie mit Aluminiumfilter von 0·5—0·38 *mm* Dicke bestrahlt wurden.

γ) Allgemeine Untersuchungen über Filterwirkung.

Vor *Guilleminot*[3] fehlen noch jegliche experimentelle Untersuchungen darüber, wie das als Filter verwandte Medium am zweckmäßigsten an Qualität und Schichtdicken zu wählen sei, um einen optimalen Tiefeneffekt zu erzielen. Filtriert man z. B. Aluminium, so läßt sich a priori nicht sagen, bei welcher Filterdicke man in der gewünschten Tiefe ein Optimum der Resorption erzielt. *Guilleminot* stellte ausgedehnte Untersuchungen in dieser Richtung an, die außerordentlich interessant sind. Er geht von der Vorstellung aus, daß eine komplexe Strahlung, welche von einer Röntgen-Energie-Einheit 0·575 durch ein 1 *mm* dickes Aluminumfilter hindurchtreten läßt, sich zusammensetzt aus gleichen Teilen von —sagen wir — 10 verschiedenen Strahlungsqualitäten; aus der komplexen Strahlung würden dann von den einzelnen Strahlungsqualitäten durch das 1 *mm* dicke Filter

0·260
0·300
0·350
0·420
0·530
0·640
0·750
0·810
0·840
0·850

einer Röntgen-Energie-Einheit hindurchtreten.

[1] Traitement radiothérapique des fibromes interstitiels de l'uterus etc. Arch. d'électr. med. No. 270, 1909.

[2] Archives of the Roentgen-Ray. Nov. 1911.

[3] Guilleminot: Rayons X de haute penetration obtenus par filtrage. Leur avantage en radiothérapie pour le traitement des tumeurs profondes. Compt. rend. 1909, I, p. 186.

Diese Zahlen nennt er die Transmissionskoeffizienten der betreffenden Strahlungen. Schickt man eine solche komplexe Strahlung durch ein sehr dickes Aluminiumfilter, so hat die Ausfallsstrahlung annähernd den Transmissionskoeffizienten 0·830. Verfolgt er, wie die Intensität einer solchen Strahlung sich beim Durchdringen eines Gewebes in den aufeinander folgenden Schichten ändert, so erhält er eine Kurve, deren Abscisse die Gewebstiefe, deren Ordinate die jeweilig zugehörige Intensität der Strahlen angibt. Er bezeichnet diese Kurve als die Transmissionskurve der betreffenden Strahlung. Durch sukzessive Subtraktion der in den einzelnen Millimeterschichten gemessenen Dosen erhält er dann die Lichtmengen, welche in diesen einzelnen Schichten absorbiert sind. Mit Hilfe dieser Zahlen konstruiert er eine zweite Kurve, die er die Kurve der Absorptionstaxen nennt; ihre Abscisse gibt ebenfalls die Gewebstiefe, ihre Ordinate, die in dieser Tiefe durch 1 *mm* Gewebe absorbierte Dosis im Prozent der Einfallsstrahlung ausgedrückt, an. Mißt man an der Oberfläche statt 100 M (400 M einer Strahlung von 5 Benoist = Erythemdosis[1]) das Doppelte, Dreifache etc., so wird auch die in den einzelnen Schichten retinierte in Prozentzahlen ausgerechnete Lichtmenge das Doppelte, Dreifache etc. betragen. Er bezeichnet diese der betreffenden Schicht entsprechende Dosis als die in ihr wirksame Dosis (dosis efficax), da von ihr, wie er meint, der biologische Effekt abhängt.

Für seine Untersuchungen wählte *Guilleminot* als Phantom eine homogene Substanz, die an Dichtigkeit und Radiochroismus[2] für X-Strahlen den weichen Geweben des Organismus von 1·05 specifischen Gewicht etwa gleichkommt; verglich er die Absorptionskurven von Strahlengemischen mit gleichem mittleren Penetrationskoeffizienten — wobei aber die Gemische sich voneinander unterschieden durch ihre qualitative Zusammensetzung — so fand er, daß von Schicht zu Schicht eine prozentualiter verschiedene Menge strahlender Energie resorbiert wurde. So machte er beispielsweise eine Versuchsreihe mit Primärstrahlungen, deren Transmissionskoeffizienten 0·525 bis 0·550 betrugen, d. h. durch ein 1 *mm* starkes Aluminiumblech drangen von einer Energieeinheit 0·525—0·550 hindurch. Er fand nun, daß ganz unabhängig von dem prozentualen quantitativen Anteil jeder Strahlungsart die Transmissionskurve eines Strahlungsgemisches sich umsomehr von der Transmissionskurve der monochromatischen (d. h. nicht komplexen) Strahlung mit gleichem Trans-

[1] Guilleminot: Rayons X. p. 153.

[2] R. bedeutet dabei die Fähigkeit, aus einer komplexen Strahlung die verschieden harten Strahlen elektiv zu absorbieren.

missionskoeffizient (bezogen auf 1 *mm* Al.) entfernte, je heterogener das Strahlengemisch ist.

Trägt man z. B. in die gleiche Tabelle die Transmissionskurve der monochromatischen Strahlung 0·525 und die heterogenen Kurven des gleichen Transmissionskoeffizienten ein, so haben diese Kurven, die die gleiche Anfangsintensität zeigen, einen Punkt gemeinsam, der sich ungefähr in 1 *cm* Gewebstiefe befindet, und der der Zahl 0·525 angehört, d. h. in dieser Tiefe ist die hindurchgeschickte Energie dieselbe, u. zw. gleich 0·525 der Anfangsenergie.

Aus solchen Kurven ging u. a. auch hervor, daß bei Durchstrahlung des ersten Gewebezentimeters von der ungefilterten Strahlung in den obersten Schichten relativ viel, in den tieferen dagegen relativ wenig resorbiert wurde — verglichen mit der gefilterten Strahlung —, so daß schließlich nach völligem Passieren des ersten Zentimeters in beiden Fällen 1 minus 0·525, d. h. 47·5% absorbiert waren. Gerade umgekehrt — und diese Erfahrung ist außerordentlich wichtig — ist das Absorptionsverhältnis zwischen gefilterten und ungefilterten Strahlenmengen in der Tiefe. So findet *Guilleminot*, daß eine 1 *mm*-Schicht, die in 3 *cm* Tiefe liegt, von einer ungefilterten Strahlung mit Transmissionskoeffizienten 0·525—0·550 = 0·7% absorbiert, während sie von einer monochromatischen Strahlung mit gleichem Transmissionskoeffizienten 1% retiniert, also fast das 1½fache.

Guilleminot leitet hieraus als praktische Konsequenz für die Behandlung von tiefgelegenen Tumoren — da das zu erstrebende Ziel in einem Maximum der Absorption in den tiefen Schichten, einem Minimum der Absorption in den obersten Schichten zu sehen ist — die Forderung ab, soweit wie möglich eine Strahlung zu verwenden, die sich der monochromatischen nähert.

Nun machte er ferner folgende Erfahrung: Filtert man eine Strahlung durch Aluminium von steigender Schichtdicke, so nähert sich die entsprechende Transmissionskurve der Ausfallsstrahlung allmählich der Transmissionskurve einer monochromatischen Strahlung derart, daß es nach 10 *mm* Aluminium fast unmöglich wird, zwischen beiden Kurven zu unterscheiden.

Eine Strahlung mit einem Transmissionskoeffizienten von 0·525, die durch 10 *mm* Aluminium gefiltert wird, verhält sich wie ein einfacher Strahl eines Transmissionskoeffizienten von ca. 0·800. Man kann nach *Guilleminot* deshalb sagen, daß der einfache Strahl eines Transmissionskoeffizienten von 0·800 in diesem Falle die Grenze

wäre, der diese komplexe Strahlung eines Transmissionskoeffizienten von 0·525 zustrebt.

Da der Energieverlust bei 10 *mm* Aluminiumfilterung nach den Messungen *Guilleminots* 93—94% beträgt, und da schon durch eine Aluminiumschicht von 5 *mm* Dicke die Läuterung der Strahlen sehr stark ist, so hält *Guilleminot* das 5 *mm*-Filter schon für praktisch ausreichend.

Die Annahme *Guilleminots*, daß der physiologische Effekt derselben Quantität wirksamer Dosis von verschiedener Qualität stets gleich sei, ist in der Literatur nicht ohne Widerspruch. So fanden *Nogier*[1] und *Regaud*, daß verschiedene Zellarten auf verschiedene Strahlenqualitäten verschieden reagieren. Bei diesen vergleichenden Untersuchungen an Ratten erwiesen sich die Spermatogonien für harte Strahlen etwas vulnerabler als für gemischte Strahlen. Weiter fanden die genannten Autoren folgendes:

1. Bei Bestrahlung der Ratten mit gefilterten Strahlen erzeugte eine Dosis, welche, ungefiltert gegeben, ein Röntgenulcus verursachte, keine Dermatitis.

2. Keine Partie des Hodens, der mit 2 *mm* Aluminium und einer Teinte 4 nach *Bordier* entsprechenden Dosis bestrahlt war, weist grobe Läsionen auf (Massenzerstörung von Samenkanälchen), wie man sie nach Einwirkung einer an weichen Strahlen reichen Gesamtstrahlung bemerkte.

3. Die durch harte Strahlen verursachten Läsionen sind im allgemeinen gleich stark im ganzen Organ, anstatt, wie es nach Einwirkung der ungefilterten Strahlung der Fall ist, unterbrochen zu sein von Zonen mit geringerem Effekt.

Beide Autoren bemerken noch am Schlusse ihrer Untersuchung, daß die Resultate, die sie bisher bei Bestrahlung maligner Tumoren mit ungefilterten Strahlen gemacht hatten, mittelmäßig gewesen seien (ausgenommen bei gewissen Hautneoplasmen), daß aber, „die biologische, oder genauer gesagt, cytologische Wirkung der gefilterten Strahlen sie zu neuen Hoffnungen berechtigen würde."

In einer Arbeit über „X-Rays in treatment" berichtet *Riddel*[2], daß er mit Erfolg Aluminium als Filter in der Tiefentherapie verwende, u. zw. 1 *mm* dicke Platten, die er je nach dem zu erzielenden Tiefeneffekt zu mehreren Lagen übereinander legt.

[1] Nogier & Regaud: Action comparée sur les cellules seminales du faisceau total des rayons de Roentgen et des rayons durs seuls. Compt. rend. VII, 1909.

[2] The British Medical Journal 1911, I, p. 985.

Belot[1] filtert (ob mit oder ohne Kenntnis der *Guilleminot*schen Untersuchungen ist nicht zu ersehen) bei Tiefenbestrahlung mit einem 5 *mm* dicken Aluminiumfilter.

Zu fast der gleichen Zeit, in der Guilleminot seine oben erwähnten experimentellen Untersuchungen über Filterwirkung in den „Comptes rendues" publizierte (im November 1908), erschien in England eine umfangreiche experimentelle Filterarbeit von *Barkla*[2], Physikprofessor am Kings College in London. Er kam in seinen Untersuchungen zu den folgenden sehr wichtigen Ergebnissen:

Drei Arten von Strahlen verlassen das Filter bei der Röntgenbelichtung:

1. Die sogenannte Dispersionsstrahlung (Scattered radiation), die den Hauptanteil der Strahlung bei allen Körpern bildet, deren Atomgewicht zwischen H und S liegt. Sie besitzt dieselbe Penetrationskraft wie die Primärstrahlung, wird auch von Substanzen mit höherem Atomgewicht ausgesandt. Haben wir also ein primäres Strahlungsgemisch von 6—10 Wehnelt, so wird auch die Dispersionsstrahlung eine Penetrationskraft von 6—10 Wehnelt haben.

2. Die Sekundärstrahlung, u. zw.:

a) Die dem Filter specifische Sekundärstrahlung oder charakteristische Strahlung unterscheidet sich von der „Dispersionsstrahlung" durch ein weit stärkeres Ionisationsvermögen. Sie überwiegt bei den Elementen mit höherem Atomgewicht (mit Ausnahme der Silbergruppe[3] und ihre Penetrationskraft ist lediglich abhängig von der Qualität des betreffenden Filters.

b) Die corpusculäre Strahlung[4], die den β-Strahlen des Radiums entspricht, und die in Luft nur bis zu 1 *cm* und in Wasser und Gewebe wahrscheinlich nur bis zu $\frac{1}{1000}$ *cm* Tiefe dringt.

Als Maß für die Penetrationskraft der Sekundärstrahlung eines Elementes bestimmte *Barkla* jene Schichtdicke von Aluminium und von Wasser, bei der die Hälfte der Einfallsdosis absorbiert ist. So

[1] In Gocht: Handbuch der Röntgenlehre, p. 419.

[2] Barkla: Phil. Mag. 16, 1908, p. 550—580. Ref. in: Le Radium 1909, p. 18.

[3] Cf. auch Walter: Über das Röntgensche Absorptionsgesetz und seine Erklärung. Fortschritte auf dem Gebiete der X-Strahlen, Bd. VIII, p. 301.

[4] Sie kommt also bei den gewöhnlich geübten Filtermethoden für Tiefentherapie nicht in Betracht; ob und inwieweit sie als schädigend für die Oberfläche des Körpers angesehen werden muß, das hängt ab von dem Abstande des Filters. Immerhin wäre denkbar, daß die zur Abdeckung benutzten Metallbleche, z. B. Blei, die der Haut direkt aufzuliegen pflegen, durch die Aussendung solcher corpusculärer Strahlung der Haut schaden kann. Man würde sie also nach obiger Bemerkung durch Unterlegen von Leinen oder anderem Material abfangen können.

berechnete er u. a. diese von *Christen* neuerdings als Halbwertsschicht bezeichnete Dicke für

die dem Selen charakteristische Sekundärstrahlung, bezogen auf Wasser zu 2 *mm* oder auf Aluminium zu $\frac{10}{75}$ *mm*,

die Halbwertschicht der charakteristischen Strahlung des Silbers bezogen auf Aluminium zu 1 *mm*, auf Wasser zu 1·4 *cm*,

die Halbwertschicht der charakteristischen Calciumsekundärstrahlung auf $\frac{1}{120}$ *cm* Wasser,

die Halbwertschicht der charakteristischen Kupfersekundärstrahlung auf $\frac{1}{14}$ *cm* Wasser.

Die bei weitem größte Halbwertschicht fand *Barkla* für die dem Cerium charakteristische Sekundärstrahlung, zu 6 *cm* Wasser.

Je nach der Tiefenlage des zu beeinflussenden Organes wäre demnach ein qualitativ verschiedenes Filter zu wählen.

Eine weitere Untersuchung, die sich ebenfalls das Ziel gesteckt hatte, einer in der Körpertiefe gelegenen Gewebspartie, bei einem Minimum der Absorption in der Haut eine größtmögliche Dosis zu geben, veröffentlichte *Barkla*[1] 1910. Er geht bei diesen Experimenten aus von der Erfahrung, daß carcinomatöse Erkrankungen der Haut selbst oder nahe der Haut durch Röntgenstrahlen geheilt sind, während ähnliche Erkrankungen tiefer gelegener Organe — wenn überhaupt — nur wenig beeinflußt werden. Dieser Unterschied beruhe auf der Differenz der Dosis, welche die erkrankten Gewebe bekommen. Nun sei die Hauptveränderung, welche in Substanzen beobachtet wurde, die von Röntgenstrahlen durchdrungen wurden, die gleiche wie in durchstrahlten Gasen, nämlich Ionisation. Ohne Zweifel finde im soliden und flüssigen Zustand des durchstrahlten Mediums ein ähnlicher Prozeß statt, obgleich hier die schließlichen Zustände der Ionen verschieden seien. Dieser Ionisationsprozeß involviere die Absorption von Energie aus den passierenden Röntgenstrahlen. Wo geringe Absorption und geringe Ionisation stattfinde, dürften wir sicherlich auch nur geringen physiologischen Effekt erwarten.

Die Mängel, die den gegenwärtig angewendeten Methoden anhafteten, seien folgende:

1. Die Einwirkung der Strahlen beschränke sich nicht auf das erkrankte Gewebe; in Wirklichkeit seien die gesunden, oberhalb gelegenen Partien des Körpers einer intensiveren Bestrahlung ausgesetzt, als die, welche man heilen wolle.

[1] Barkla: The treatment of cancer by X-Rays. The brit. med. Journal, Nov. 1910.

2. Die Strahlung, welche das tiefgelegene erkrankte Gewebe erreiche, sei notwendig penetrierend und passiere infolgedessen dasselbe unter geringer Absorption von Energie und geringer Ionisation der das Gewebe zusammensetzenden Atome. Diese penetrierende Strahlung verliere dann den größten Teil ihrer Energie durch Dispersionsstrahlung und nicht durch wirkliche Absorption. Deshalb sei die Dichte z. B. eines Schattens, der von einem Organ auf einem Fluorescenzschirm geworfen wird, kein wahres Maß für die von diesem Organ absorbierte Energie, selbst wenn die Strahlung homogen wäre, sondern sie sei korrekter ein Maß sowohl für die von der primären Strahlung durch Zerstreuung verloren gegangene Energie, als auch der durch die umgebenden Organe aufgenommenen Energie.

Es seien — meinte er — also die folgenden Tatsachen zu berücksichtigen:

1. Die stärker ionisierenden Strahlen werden durch die obersten Gewebsschichten absorbiert.

2. Die penetrierende Strahlung sei so stark penetriernd, daß sie die erkrankte Partie nur unter geringer Absorption passiere.

3. Das, was anscheinend absorbiert sei, werde in Wirklichkeit in weitem Maße reflektiert (reflected).

Nun könne die Einwirkung

a) enorm an Intensität gesteigert werden,

b) in einem besonderen Teil des Organismus lokalisiert werden.

Und zwar denkt er sich das auf folgende Weise:

Elemente von hohem specifischen Gewichte lassen nur einen geringen Prozentsatz Einfallsstrahlung hindurchtreten, dagegen transformieren sie diese Strahlung in eine absorbierbare und intensiver ionisierende Sekundärstrahlung von zwei Arten: eine dem betreffenden Element charakteristische Strahlung und eine sog. corpusculäre Strahlung vom Charakter der β-Strahlen radioaktiver Substanzen.

Die Gesamtenergie dieser beiden Strahlungen sei sicher ein großer Teil der von der Primärstrahlung bei ihrer Transmission verlorenen Energie, auch sei das Verhältnis der Absorption dieser Strahlungen durch leichte Atome zu der durch schwere Atome sehr viel größer als bei der primären penetrierenden Strahlung.

Wenn deshalb ein Gemisch von schweren und leichten Atomen einer penetrierenden Strahlung ausgesetzt werde, so würden die

schweren Elemente viel von dieser Strahlung absorbieren und ihrerseits wiederum einen großen Teil dieser Energie in Form der oben erwähnten leichter absorbierbaren Strahlungen aussenden, die nach allen Richtungen sich ausbreitend, eine stark vermehrte Ionisation in den benachbarten leichten Elementen verursachen würden. Wenn wir daher in die kranke Partie des Körpers eine Substanz injizieren würden, die ein schweres Element enthalte, so werde durch das umgebende Gewebe eine intensiv-penetrierende Strahlung passieren mit geringem Effekt und in dem kranken Gewebe zu hochwirksamen Strahlen transformiert werden, die praktisch vollkommen in jenem Gewebe absorbiert werden würden.

Die Art der chemischen Bindung des betreffenden Elementes würde den Prozeß nicht beeinflussen, wie z. B. beim Bismuthum carbonicum das Wismut als Transformator wirken würde. Je lockerer sich die injizierte Substanz auf das kranke Gewebe verteile, um so wirksamer würde sich auch die transformierte Strahlung verteilen, denn dichte Massen strahlender Substanz absorbierten ihre eigene Strahlung in hohem Maße. Um den Zuwachs an Ionisation, den man auf solche Weise im Gewebe erzielen kann, zu untersuchen, bestrahlte *Barkla* 1 cm^3 Fleisch, auf dem $^1/_2$ *g* Bismuth. carbon. fein verteilt war. Die Ionisation, die auf diese Weise im Fleisch durch die transformierte Strahlung hervorgerufen wird, berechnete er auf das 30 bis 50fache der Ionisation ohne Wismutimprägnation.

Ebenso wie *Barkla* für die Bestimmung der Penetrationskraft der den verschiedenen Filtern charakteristischen Sekundärstrahlen als Meßobjekt diejenige Weichteil-, bzw. Aluminiumschicht anwandte, welche die Hälfte dieser Strahlung absorbierte, so bediente sich *Christen* neuerdings der gleichen Methode, um die Härte einer Strahlung zu bestimmen. Während aber *Barkla* aus dieser außerordentlich korrekten Methode neue praktische Konsequenzen nicht zog, baute *Christen* sie in Kombination mit einer theoretisch-physikalischen Berechnung für die jeweilige Tiefenverteilung der Dosis bei gegebener Strahlenhärte zu einer Methode aus, die es ihm in der Theorie ermöglicht, in einer bestimmten Tiefe eine optimale Dosis zur Absorption zu bringen; allerdings ist er dann gezwungen, die diesem Optimum der Absorption zugehörige Härte der Strahlung zu nehmen, denn Röhrenhärte und Absorption der betreffenden Strahlen stehen in fester Beziehung zueinander.

Anderseits ist noch nicht erwiesen, daß Absorption und biologische Wirkung miteinander parallel gehen; es spricht im Gegenteil vieles dafür, daß dies nicht der Fall ist, sondern daß außer der

Menge der absorbierten Strahlung deren Qualität eine große Rolle spielt. Zu dem gleichen Resultate kamen *Regaud* und *Nogier*, wie wir schon oben berichteten.

II. Eigene biologische Experimente über Filterwirkung.

Aus den physikalischen Experimenten[1], vor allem aber aus der oben erwähnten physikalischen Analyse der Sekundärstrahlung mußte mit großer Wahrscheinlichkeit der Schluß abgeleitet werden, daß eine gefilterte Strahlung, die sich schon rein physikalisch so sehr von der Primärstrahlung unterscheidet, sich auch in ihrer biologischen Wirkung anders als diese verhalten werde. Die Frage war nun, ob lebende Zellen fein genug reagieren würden, einen erkennbaren Unterschied in der Beeinflussung zu zeigen. Um diese Frage zu entscheiden, stellten wir eine Reihe von Versuchen in der gedachten Richtung an. Es kamen sowohl pflanzliche als auch tierische Zellen für diese vergleichenden Untersuchungen in Betracht. Unseres Wissens lagen solche zu Beginn unserer Experimente noch nicht vor. Die von uns erzielten Resultate wurden schon im Juni 1911 auf dem Kongreß der Deutschen gynäkologischen Gesellschaft zu München in einer kurzen Mitteilung[2] erwähnt, ausführlich dann im September 1911 auf der Deutschen Naturforscherversammlung zu Karlsruhe[3], in der Freiburger medizinischen Gesellschaft[4] und in der Berliner Gesellschaft für Geburtshilfe und Gynäkologie[5] besprochen. Mit denselben Fragen beschäftigen sich die Arbeiten, die *Meyer* und *Ritter*[6] kürzlich veröffentlicht haben. Die uns bis dahin bekannten Versuche erstreckten sich lediglich darauf, den Einfluß der Röntgenstrahlen an sich zu studieren.

1. Pflanzenversuche.

Es hat sich ergeben[7], daß die pflanzliche Zelle ganz verschieden reagiert, je nachdem sie als ungekeimter Samen oder während der Wachstumsperiode bestrahlt wird. Während der ersten Periode, wo die Zelle ein Minimum an Vitalität zeigt und die Ernährungs-, bzw. Respirationsvorgänge minimale sind, reagiert sie auf Bestrahlung mit Entwicklungshemmung. Nun haben, wie *Guilleminot* anführt,

[1] Cf. Gauß und Lembcke, Röntgentiefentherapie, in der diese Arbeit verwertet wurde.

[2] Verhandlung der Deutschen Gesellschaft für Gynäk. 1911, p. 622.

[3] Verhandlung der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. 1911, p. 249.

[4] Deutsche Medizinische Wochenschrift. 1912, Nr. 5.

[5] Am 8. März und 22. März 1912.

[6] Strahlentherapie. Bd. I, Heft 1—2, Juni 1912.

[7] Guilleminot: Rayons X et radiations diverses.

Untersuchungen von *Müntz*[1], *van Vieghem*[2] u. a. zu der Annahme geführt, daß die Keimkraft nur dadurch erhalten werden kann, daß man den Samen vor oxydativen Einflüssen schützt. Die Bestrahlungen aber wirken schädigend auf das Samenkorn; es sei daher wahrscheinlich, daß eben die Oxydation, welche durch die Strahlen hervorgerufen wird, das Bindeglied darstellt zwischen der Bestrahlung und der konstatierten Schädigung.

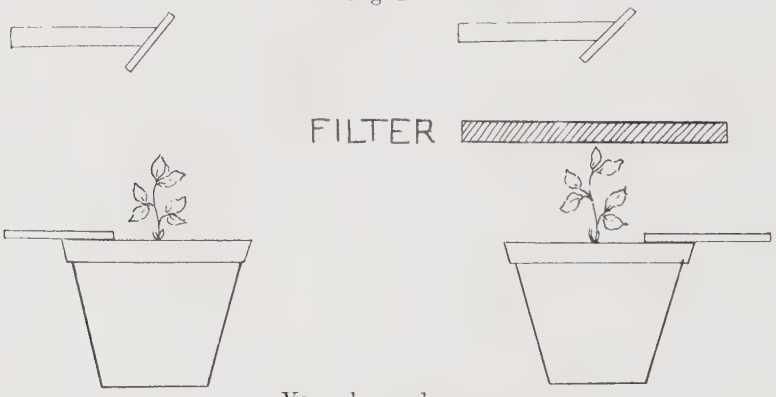
Anders verhält sich nach demselben Autor die Pflanze im Keim- und Wachstumstadium, wo intensive Assimilation und Dissimilation, rapide Zellteilung, Proliferation etc. stattfinden. Wenn wirklich die Beeinflussung via Oxydation ginge, so müßte man a priori folgern, daß die Bestrahlung verschiedene Wirkungen haben, je nachdem die absorbierte Dosis eine mäßige Beschleunigung dieser Oxydationsprozesse und somit intensiveres Wachstum hervorrufe, oder aber so vernichtend wirke, daß die Entwicklung der Zelle damit unvereinbar sei.

Mit Hilfe dieser experimentellen Erfahrung werden wir später die Ergebnisse der von uns angestellten Pflanzenversuche leichter analysieren können.

Versuchsanordnung.

Die Pflanzenversuche wurden an jungen Saubohnen gemacht. Daß wir gerade Saubohnen wählten, hatte seinen Grund darin, daß wir meinten annehmen zu können, wir würden in ihnen als schnellwachsenden jungen Organismen ein genügend radiosensibles

Fig. 2.



Versuchsanordnung.

Testobjekt für unsere Versuche finden. Je eine Anzahl wurde in einen Topf eingepflanzt, die durchschnittliche Größe betrug 5—20 *cm* bei

[1] + [2] Zitiert bei Guilleminot.

den verschiedenen Versuchen, gemessen wurde vom Topfrand bis zur Pflanzenkrone. Die Versuchsanordnung ist in Fig. 2 ersichtlich. Die Pflanzen wurden immer nur einmal bestrahlt; in jeder Versuchsreihe erhielten die ohne Filter bestrahlten möglichst genau die gleiche Dosis wie die mit Filter bestrahlten. Es braucht wohl nicht besonders erwähnt zu werden, daß bei jeder Serie eine Anzahl von unbestrahlten Kontrollpflanzen unter sonst gleichen Bedingungen gehalten wurde. Als Abstand der Antikathode von der Pflanzenkrone wurde regelmäßig 20 *cm* gewählt, wenn nicht besondere Angaben gemacht sind. Gefiltert wurde durchweg mit Aluminium in 3—6 *mm* Dicke. Die applizierte Dosis wurde mit Quantimeterstreifen am oberen Topfrande gemessen.

Fig. 3.

Die Pflanzen hielten wir alle unter gleichen Bedingungen und kontrollierten sie regelmäßig. Wenn wesentliche Veränderungen in ihrem Zustande beobachtet wurden, fixierten wir den Befund durch Photogramme. Daneben wurde natürlich ein fortlaufendes Protokoll geführt über die markanten Veränderungen, die die Pflanzen zu den verschiedenen Zeiten der Beobachtung zeigten. Um die differente Wachstumsintensität der verschieden bestrahlten Bohnen schärfer zum Ausdruck zu bringen, glaubten wir, sie nicht im offenen Beet halten zu sollen, sondern stellten die Topfpflanzen in einen hellen gedeckten Korridor, in dem sie, ähnlich Treibhauspflanzen, ein stark beschleunigtes Wachstum zeigten.

Die Versuche verliefen nun in folgender, durch die angeführten Protokolle veranschaulichten Weise.

Serie I.

Wir mußten zuerst wissen, ob und wie die gewählten Pflänzlinge auf Röntgenlicht reagierten. Fig. 3 zeigt die Photographie einer mit 80 X bestrahlten Saubohne mit der unbestrahlten Kontrollpflanze vier Wochen nach der vorgenommenen Belichtung. Man kann die starke Entwicklungshemmung der bestrahlten Pflanzen deutlich erkennen, die sehr grazil und zum Teil schon verwelkt sind.

Ergebnis: Jungwachsende Saubohnen sind als geeignetes Testobjekt für die Wirkung des Röntgenlichtes anzusehen.

Fig. 4.

Serie II.

In einem zweiten Experiment versuchten wir sodann zu entscheiden, ob die gewählte Pflanze sensibel genug wäre, um gegenüber Strahlen verschiedener Qualität mit Differenzen im Wachstum zu reagieren. Zu diesem Zweck gaben wir zwei Pflanzen die gleiche Dosis von 84 X gefilterter, bzw. ungefilterter Strahlung und beobachteten dann ihre Entwicklung.

Nach 14 Tagen etwa konnte man bereits eine Differenz unter den Pflänzlingen erkennen, die im Photogramm (Fig. 4) zum Ausdruck kommt; während die unbestrahlten Bohnen schnell emporschossen, blieben die ohne Filter bestrahlten deutlich zurück, vorläufig ohne

wesentlichen Unterschied zwischen den mit und ohne Filter bestrahlten Exemplaren. Allmählich stellte sich jedoch eine stärkere Wachstumshemmung bei den filterlos bestrahlten ein, so daß diese eine Art von Zwergwuchs aufwiesen (Fig. 5); die mit Filter be-

Fig. 5.

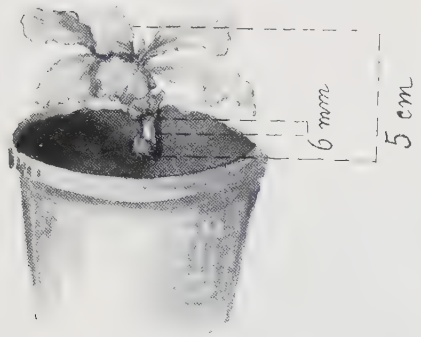
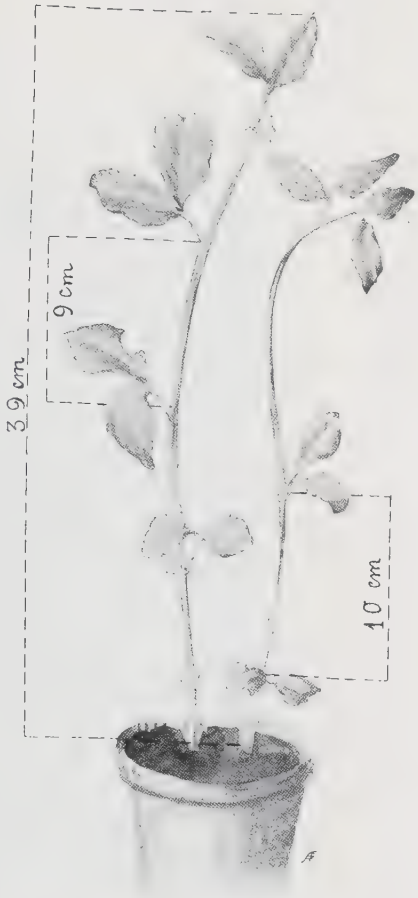


Fig. 6.

Fig. 7.



strahlten wuchsen vorläufig langsam weiter, blieben aber immer mehr hinter den unbestrahlten Kontrollpflanzen zurück und zeigten schließlich eine an der Krone einsetzende und gegen die Wurzel zu fortschreitende Eintrocknung (Fig. 6) mit schwärzlicher Verfärbung von Stiel und Blättern.

Aus den Abbildungen 5—7, die etwa dem Befunde vier Wochen nach dem Bestrahlungstermin entsprechen, und bei denen der Einfach-

heit wegen aus den bestrahlten Töpfen nur die jeweils größte gezeichnet wurde, ersieht man deutlich die charakteristische Beeinflussung der Pflanzen. Die unbestrahlte (Fig. 7) ist etwa 39 *cm* groß und zeigt Internodalspatien von 9—10 *cm;* dem gegenüber ist die filterlos bestrahlte (Fig. 5) nur 5 *cm* groß und hat Internodalabstände von etwa 6 *mm*, ist aber sonst völlig frischgrün; die mit Filter bestrahlte Bohne (Fig. 6) zeigte um die gleiche Zeit schon eine ziemlich vorgeschrittene Eintrocknung der Krone, wies bei Streckung der welk niederhängenden Spitze eine Länge von

Fig. 8.

etwa 11 *cm* und internodale Abstände von 12 *mm* auf. Im Weiterverlauf begann die filterlos bestrahlte deutlich zu verkümmern, während die Eintrocknung der gefiltertbestrahlten dauernd gegen die Wurzel zu fortschritt. Fig. 8 zeigt uns eine Photographie derselben Versuchsreihe nach fünf Wochen. Wir konnten dann weiter eine fortschreitende Ermattung der filterlos bestrahlten mit einer an der Spitze beginnenden schwarzen Eintrocknung beobachten, die etwa

um die Zeit einsetzte, da die Eintrocknung der gefiltert bestrahlten bis zur Wurzel vorgedrungen war.

Nach sieben Wochen waren die Kontrollpflanzen frischgrün und kräftig, die filterlosen bis auf Wurzeln und untersten Zentimeter des Stieles schwarz und eingetrocknet, die gefilterten bereits seit einiger Zeit total vertrocknet.

Fig. 9.

Neun Wochen nach der Bestrahlung waren auch die ohne Filter bestrahlten gänzlich abgestorben, während die Kontrollpflanzen alle 65—70 *cm* maßen und frisch und grün aussahen.

Ergebnis: Die Pflanzen sind durch Röntgenstrahlen geschädigt worden. Diese Schädigung erweist sich ceteris paribus bei Einschaltung eines 4 *mm* dicken Aluminiumfilters intensiver als bei ungefilterter Strahlung.

Serie III.

Die Versuchsanordnung war auch hier wieder die gleiche. Beide Vergleichsobjekte erhielten annähernd eine gleich große Dosis, d. h. die ohne Filter bestrahlten 84 X, die mit 4 *mm* dicken Aluminiumfilter bestrahlten 81 X. Auch hier blieben die bestrahlten Bohnen sehr bald im Wachstum zurück, so daß schon nach 14 Tagen die Kontrollpflanzen mehr als doppelt so groß waren als die belichteten. Als Beweis unserer Schilderung mag das Photogramm in Fig. 9 gelten. Unter den bestrahlten erwiesen sich die unter dem Filter stärker geschädigt als die direkt belichteten; sie waren kleiner, zierlicher und an Stengeln und Blättern deutlich welker als die filterlosen. Das Photogramm in Fig. 9 läßt dies deutlich zum Ausdruck kommen.

Fig. 10.

Allmählich wurde die Differenz in der Schädigung beider Gruppen noch schärfer, so daß die Überlegenheit der gefilterten über die ungefilterten Strahlen in der photographischen Aufnahme nach vier Wochen (Fig. 10) prägnant hervortritt.

Die Fig. 11 und 12 zeigen die Pflanzen noch später, fünf bis sechs Wochen nach der Bestrahlung. Eine Deutung der Bilder dürfte sich wohl erübrigen.

Ergebnis: Die schon in Serie 3 gesehene größere Energie der gefilterten Strahlung gegenüber der ungefilterten erwies sich auch hier als zu recht bestehend.

Serie IV.

In dieser Serie wurde ein Teil der Pflanzen mit 86 X ohne Filter, ein zweiter Teil unter 4 *mm* Aluminiumfilter mit 85 X bestrahlt.

Nach zehn Tagen war ein deutliches Zurückbleiben der bestrahlten Exemplare gegenüber den Kontrollpflanzen zu konstatieren, während eine Differenz zwischen filterlos und gefiltert bestrahlten noch kaum zu erkennen war. Nach drei Wochen dagegen war, wie uns Fig. 13 zeigt, der Unterschied im Wachstum der bestrahlten Pflanzen unver-

Fig. 11.

kennbar. Die mit Filter bestrahlten Exemplare, ihre Stengel und Blätter waren nicht so voll entwickelt wie bei den filterlos bestrahlten, und ihre Kronen waren zum größten Teil welk.

Fig. 14 zeigt uns die gleiche Serie fünf Wochen nach der Bestrahlung. In dem ohne Filter bestrahlten Topf ist nur noch etwa die eine Hälfte der Pflanze in Größe von 10—28 *cm* frischgrün, aber verkümmert, besonders nach der Spitze zu, während die andere Hälfte ganz vertrocknet ist.

Von den mit Filter bestrahlten Bohnen sind alle infantil geblieben, die Größe der einzelnen Exemplare variiert zwischen 6 und 20 *cm*. Einige Pflänzlinge sind absolut vertrocknet bis auf einen 1 *cm* langen grünen Stumpf, einige sind noch frischgrün, andere zeigen eine von der Spitze fortschreitende Verwelkung. Die sechs Kontrollpflanzen hingegen sind frischgrün und besitzen eine Größe von 54—95 *cm*.

Fig. 12.

Acht Wochen nach der Bestrahlung (siehe Fig. 15) ergibt der photographisch fixierte Befund eine noch stärkere Schädigung unter dem Filter. Während alle Kontrollpflanzen frischgrün waren und jetzt eine Höhe bis zu 106 *cm* erreicht hatten, waren die mit ungefiltertem Licht beschickten Exemplare kaum größer als vor drei Wochen; nur noch wenige grünten, zeigten aber schlaffe Stengel und Blätter, die übrigen waren vertrocknet.

Die mit Filter bestrahlten Bohnen waren jetzt dagegen sämtlich verdörrt.

Ergebnis: Wiederum erwiesen sich die mit 4 *mm* Aluminiumfilter bestrahlten Pflanzen stärker geschädigt als die ohne Filter bestrahlten.

Serie V.

Während aus den voraufgehenden Experimenten klar hervorging, daß mit Aluminium gefiltertes Röntgenlicht die pflanzlichen Organismen stärker schädigten als ungefiltertes, wünschten wir jetzt zu wissen, ob die Schichtdicke der filternden Materie von irgend welchem Einfluß auf die biologische Kraft der Strahlung sei. Zu diesem

Zwecke bestrahlen wir Saubohnen mit 3 *mm*, bzw. 6 *mm* dickem Aluminiumfilter. Beide Pflanzengruppen erhielten 25 X, natürlich unter dem Filter gemessen.

Bei der Bestrahlung zeigte sich, daß die beiden bestrahlten Topfpflanzen nach 14 Tagen sehr viel weniger gewachsen waren als

Fig. 13.

die Kontrollpflanzen, daß aber die mit 3 *mm* Filter bestrahlten noch etwas hinter den mit 6 *mm* Filter bestrahlten zurückgeblieben waren; dies zeigt auch die photographische Aufnahme. (Fig. 16.)

Eine Woche später finden wir die Saubohnen unter dünnerem Filter zwar stämmig und grün, doch besitzen sie nur noch die halbe Größe der Kontrollpflanzen und ihre Spitzen sind bereits verkümmert.

Fig. 14.

Die mit stärker gefilterten Strahlen beschickten Exemplare sind zwar etwas größer, im ganzen frisch und grün, doch sind die Spitzen nicht nur verkümmert, sondern zum Teil schon schwärzlich verfärbt. Fig. 17 zeigt das zugehörige Photogramm, Fig. 18 eine Aufnahme nach weiteren 8 Tagen.

Allmählich wird die schwärzliche Verfärbung der mit starkem Filter bestrahlten Saubohnen immer ausgedehnter, so daß wir 6 W o c h e n nach der Bestrahlung den folgenden Befund haben.

Die Kontrollpflanzen sind sämtlich frisch und kräftig und haben jetzt eine Höhe von 114 *cm* erreicht.

In dem unter 3 *mm* Aluminium bestrahlten Topfe ist die größte Pflanze 43 *cm* hoch, die Spitzen sämtlicher Saubohnen sind eingetrocknet, während der Stamm eine nach unten zu fortschreitende Verwelkung zeigt.

Fig. 15.

Die mit stark gefiltertem Röntgenlicht bestrahlten Organismen sind zwar noch um 4 *cm* größer, doch weisen alle Spitzen schwärzliche Verfärbung auf und sämtliche Blätter sind vollkommen schwarz.

3 Wochen später waren alle bestrahlten Organismen vertrocknet, während die Kontrollpflanzen relativ frisch waren. (Fig. 19.)

Serie VI.

Neben der Beantwortung der schon in der vorhergehenden Serie gestellten Frage war uns noch ein Weiteres von Interesse, nämlich:

Wie ändert sich der biologische Effekt der ungefilterten Strahlung, wenn wir von der bisher geübten Fokus-Objektdistanz (20 *cm*) zu dem von *Albers-Schönberg* empfohlenen (38 *cm*) übergehen?

Fig. 16.

Demgemäß verlief der Versuch folgendermaßen:

a) unbestrahlt;

b) ohne Filter. Nahabstand, d. h. die Distanz zwischen Fokus und Pflanzenkrone betrug 20 *cm*. Dosis 17 X;

c) ohne Filter. Fernabstand, d. h. die obige Distanz betrug 40 *cm*. Dosis 15 X;

d) mit 3 *mm* Filter Nahabstand 14 X;

e) mit 6 *mm* Filter Nahabstand 14 X.

Befund nach 14 Tagen:

a) sämtliche Pflanzen frisch und grün, in Größe von 48—71 *cm*;

b) alle Pflanzen frischgrün bis auf die verkümmerte Spitze, die zum Teil schwärzlich verfärbt ist, 32—55 *cm* groß;

Fig. 17.

c) alle frischgrün und stämmig; zum Teil anscheinend an der Spitze im Wachstum zurückgeblieben. Größe 32—60 *cm*;

d) alle stämmig und grün bis zur verkümmerten Spitze, die teilweise schwärzlich verfärbt ist, sonst nirgends eingetrocknet. Größe 30—48 *cm*;

e) alle stämmig und grün bis zur verkümmerten Spitze, die teilweise schwärzlich verfärbt ist. Bei wenigen Pflanzen progressives Eintrocknen. Größe 8—41 *cm*.

Fig. 20 zeigt die mit 3, bzw. 6 *mm* dickem Aluminiumfilter bestrahlten Objekte (unter *d* und *e* verzeichnet) neben den Kontrollpflanzen, photographiert am Tage der Protokollierung des obigen Befundes, also 14 Tage nach der Bestrahlung. Alle bestrahlten Pflanzen sind im Wachstum zurückgeblieben, die stärker gefilterte Strahlung (bei *e*) scheint schon stärkere Wirkung zu entfalten.

Fig. 21 veranschaulicht den Unterschied in der Wirkung ungefilterter Strahlen bei Nah- und bei Fernabstand (*b*, resp. *c*). Die aus der Nähe bestrahlte Pflanze ist zweifellos stärker beeinflußt als die unbelichtete.

Fig. 18.

Befund nach 4 Wochen:

a) alle frischgrün mit z. T. eingetrockneten Blättern. Größe 60—74 *cm*;

b) durch Versehen zu Schaden gekommen;

c) Spitze verkümmert. Blätter z. T. hängend und welk. Größe 38—60 *cm*;

d) alle bis auf eine progressiv von der Spitze aus verwelkend. Größte Pflanze 51 *cm*;

e) alle von oben nach unten progressiv schwärzlich verfärbt. Größte Pflanze 38 *cm*.

Dieser Befund drückt sich deutlich im Photogramm (Fig. 22) aus. Die stärkste Schädigung war bei der stark gefilterten

Fig. 19.

Strahlung (*e*), eine weniger intensive bei der schwächer gefilterten (*d*); die mit Fernabstand ohne Filter bestrahlten Pflanzen zeigten zwar welke Blätter und Stiele, aber nicht wie die gefilterten bei Nahbestrahlung, Eintrocknung. Die bei Nahabstand filterlos bestrahlten Bohnen waren leider durch Versehen anderweitig zu Schaden gekommen.

Befund nach 6 Wochen:

a) alle relativ frisch und grün;

b) siehe oben;

c) Blätter z. T. schwärzlich verfärbt und welk. Im unteren Drittel einige grüne relativ frische Blätter. Größe bis 60 *cm*;

d) Größe bis 53 *cm*. Blätter sämtlich schwarz und abwelkend, Stengel frisch;

e) Stengel von oben nach unten verwelkend. In der unteren Hälfte frisch grün.

Fig. 20.

Die mit starker Strahlenfilterung behandelten Bohnen (*e*) sind gegenüber den schwächer gefilterten bestrahlten mehr geschädigt. Die aus Fernabstand filterlos bestrahlten befinden sich in besserer Verfassung als die aus der Nähe mit Filter bestrahlten.

Befund nach 8 Wochen:

a) alle frisch und grün;

b) siehe oben;

c) verwelkt, aber noch z. T. saftreich, grünlich;
d) verdörrt;
e) verdörrt.

Die mit Filter bestrahlten sind insgesamt verdörrt, während die mit Fernabstand ohne Filter bestrahlten zum Teil noch saftreich und grün aussehen, zum Teil abzuwelken beginnen.

Fig. 21.

Ergebnis:

1. Die stärkere Strahlenfilterung wirkt schneller und intensiver als die schwächere.

2. Die Filternahbestrahlung ist wirksamer als die filterlose Fernbestrahlung.

Zusammenfassende Kritik der Pflanzenversuche.

Das Gesamtergebnis unserer Pflanzenversuche muß dahin zusammengefaßt werden:

Fig. 22.

1. In allen Fällen war die applizierte Dosis so groß, daß eine Reizwirkung niemals, sondern immer eine Entwicklungshemmung auftrat.

2. Die mit Aluminiumfilter bestrahlte Pflanze wurde schneller als die mit ungefilterten Strahlen beschickte abgetötet.

3. Die Verstärkung der Filterschicht von 3 *mm* auf 6 *mm* hatte eine Erhöhung des schädigenden Effektes zur Folge.

4. Die im Fernabstand filterlos bestrahlten Bohnen zeigten eine geringere Schädigung als alle nahbestrahlten.

Tierversuche.

Diesen Pflanzenversuchen analog wurden auch an Tieren Experimente angestellt.

2. Kaulquappen.

Wir wählten Kaulquappen in der Annahme, daß sie während der Zeit des intensivsten jugendlichen Wachstums auf Röntgenstrahlen besonders gut reagieren würden.

Versuchsordnung.

Die Tiere hatten zur Zeit des ersten Versuches eine Größe von ca. 4 *mm*, in den späteren Serien hatten sie inzwischen eine Größe von 6 *mm* erreicht. Die in jeder Serie verwendeten Kaulquappen waren zu gleicher Zeit gefischt und annähernd gleich groß; sie stammten

in der ersten Zeit aus Teichen in und um Freiburg; später waren sie wegen der vorgeschrittenen Jahreszeit nur noch in größerer Höhe zu finden. (In den Fischweihern der Ravennaschlucht bei Höllsteig i. Schwarzwald, 600 *m* ü. d. M.)

Die Tiere wurden in kleinen Glasschalen von 5 *cm* Durchmesser und 3 *cm* Höhe bestrahlt und befanden sich während der Bestrahlung in Wasser von $^3/_4$ *cm* Höhe. Eine gleich große Anzahl von Kontrolltieren wurde ebensolange unter denselben Bedingungen gehalten.

Als Kriteriuum für die Röntgenschädigung der Kaulquappen benutzten wir einmal die nach der Bestrahlung beobachtete Mortalität. In Fällen, wo eine solche wegen geringer Wirkung nicht zu kon-

Fig. 23.

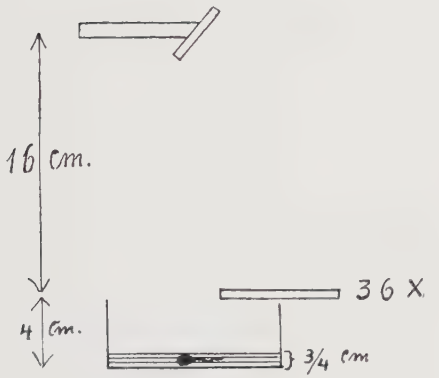
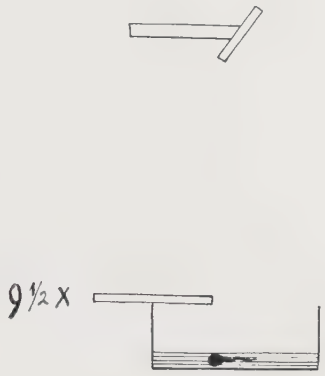


Fig. 24.



statieren war, gaben uns eigenartige Störungen im Verhalten der Tiere gute Anhaltspunkte für den Grad der nicht lebensgefährlichen Schädigung.

Als solche galten uns verschiedene Symptome: Trägheit bei Bewegung des Gefäßes, wobei die gesunden Tiere blitzschnell umherhuschten, die kranken dagegen träge liegen blieben oder mit einem Mal vorwärts schossen, um dann wiederum reaktionslos stehen zu bleiben; dann schien die Bewegbarkeit des Schwanzes der geschädigten Tiere stark beeinträchtigt zu sein; endlich fiel uns eine Art von Gleichgewichtsstörung auf, die sich darin äußerte, daß die Tiere nicht flach und gerade, sondern in einer Art von Kantestellung im Wasser lagen. Die Gefäße wurden regelmäßig kontrolliert, so daß der Tod eines Tieres jeweils fast sofort festgestellt werden konnte; durch Herausnahme des verendeten Tieres wurde einer unerwünschten Verunreinigung des Wassers für die Überlebenden vorgebeugt.

Um eine Einmischung irgendwelcher unbekannter anderer Faktoren auszuschließen, wurden die Kontrolltiere zur Zeit der Bestrahlung der anderen Tiere vor vagabundierenden Strahlen geschützt im Röntgenzimmer aufgestellt.

Die Tiere wurden im übrigen stets in dem Wasser des Teiches, dem sie entstammten, aufbewahrt, das zugleich auch ihre Nahrung in Gestalt von grünen Wasserpflanzen enthielt.

Serie I. (Fig. 23.)

6 Kaulquappen von ca. 4 *mm* Größe in Glasschale mit $^3/_4$ *cm* Wasserhöhe. Um die Tiere in annähernd gleicher Fokushautdistanz

Fig. 25.

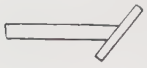
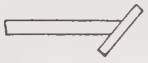
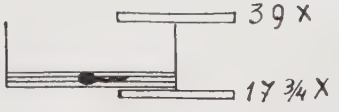


Fig. 26.





zu haben, wurde ein Drahtnetz im Wasser über ihnen ausgespannt, so daß sie nicht in verschiedener Höhe übereinander liegen konnten.

A b s t a n d der Antikathode vom Drahtnetz 16 *cm*.

D o s i s 36 X, 3 *cm* über dem Drahtnetz gemessen.

D a u e r der Bestrahlung 2 Stunden.

S t a t u s am Schlusse der Bestrahlung: alle Tiere leben.

E r g e b n i s :

	tot	lebend
Nach 14 Stunden	5	1
„ 48 „	5	1

Serie II. (Fig. 24.)

6 Kaulquappen von gleicher Größe wie in Versuch I. Versuchsanordnung die gleiche wie dort.

D o s i s $9^1/_2$ X (in gleicher Entfernung gemessen wie in Versuch I).

Status am Schluß der Bestrahlung: alle Tiere leben.

Nach 12 Tagen: alle Tiere leben.

Ergebnis: Die filterlose Bestrahlung ist bei der gewählten kleinen Dosis wenigstens auf Kaulquappen unwirksam.

Serie III. (Fig. 25.)

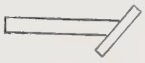
6 Kaulquappen in der Glasschale bei $^3/_4$ *cm* Wasserstand.

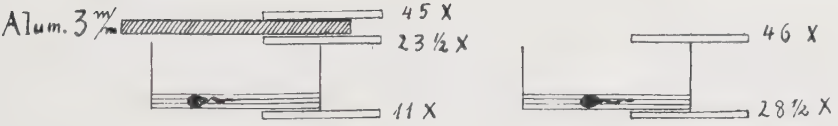
Abstand der Antikathode 16 *cm*. Über der Glasschale Aluminiumfilter von 5 *mm* Dicke, 13 *cm* von der Antikathode gelegen.

Dosis $7^1/_2$ X, direkt unter Filter gemessen.

Fig. 27.

Fig. 28.





Dauer 3 Stunden.

Status am Schluß der Bestrahlung: alle Tiere tot.

Ergebnis: Gefilterte Strahlung einer dem vorigen Versuch etwa gleichen Dosis (sogar etwas größere Dosis) tötet alle Kaulquappen.

Serie IV. (Fig. 26.)

12 Kaulquappen in $^3/_4$ *cm* Wasser in Glasschale; darüber Gazenetz; nur eine eventuelle Filterwirkung durch das Drahtnetz zu vermeiden.

Abstand der Antikathode 16 *cm*.

Dosis oben 39 X.

Status am Schluß der Bestrahlung: alle Tiere leben.

Dauer $1^1/_4$ Stunde.

Nach 10 Tagen: alle Tiere leben.

Ergebnis: Die vielfache Dosis der vorigen Versuche hat, ohne Filter gegeben, keine sichtbare Wirkung.

Serie V. (Fig. 27.)

12 Tiere bei $^3/_4$ *cm* Wasser in der Glasschale; darüber wie vorher ein Gazenetz; außerdem 3 *mm* Aluminiumfilter.

Abstand der Antikathode vom Netz 16 *cm*.

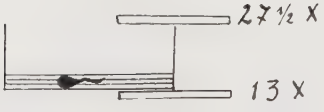
Dosis (über dem Filter 45 X), unter dem Filter $23^1/_2$ X.

Dauer 2 Stunden.

Status am Schluß der Bestrahlung: alle Tiere tot.

Ergebnis: Etwa zwei Drittel der im vorigen Versuch ohne Filter applizierten Dosis tötet — unter dem Filter gemessen — alle Tiere.

Fig. 29.



Serie VI. (Fig. 28.)

12 Kaulquappen. Versuchsanordnung wie in Versuch V, jedoch ohne Aluminiumfilter.

Dosis (über dem Filter 46 X) unter dem Filter $28^1/_4$ X.

Dauer 40 Minuten.

Status am Schluß der Bestrahlung: 3 tot, 9 leben.

Nach 4 Stunden: alle tot.

Ergebnis: Eine dem vorigen Versuch etwa gleiche Dosis ungefilterter Strahlung tötet ein Zwölftel der Tiere sofort, vom Rest zwei Drittel noch 7 Tage am Leben sind.

Serie VII. (Fig. 29.)

12 Kaulquappen. Versuchsanordnung wie in Versuch VI, ohne Filter bestrahlt.

Dosis $27^1/_2$ X.

Dauer 1 Stunde.

Status am Schluß der Bestrahlung: 1 tot, 11 leben.

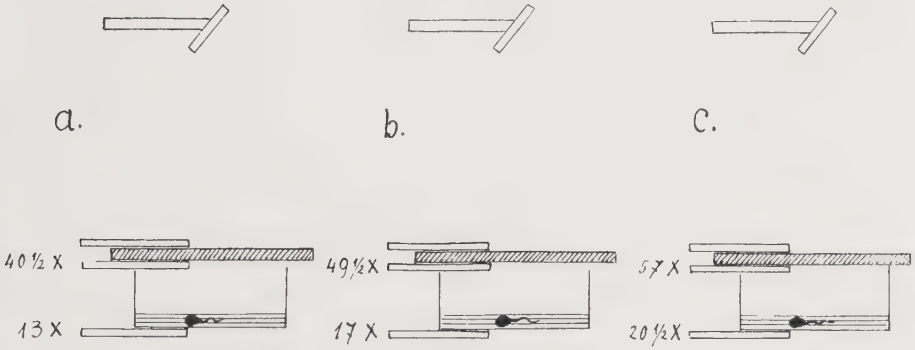
	tot	lebend
Nach 40 Stunden	4	8
„ 7 Tagen	4	8

Ergebnis: Eine dem vorigen Versuch erheblich nachstehende Dosis ungefilterter Strahlung tötet ein Zwölftel der Tiere, vom Rest sterben innerhalb von 2 Tagen noch ein Drittel, während die übrigen (drei Viertel) noch 7 Tage am Leben sind.

Serie VIII. (Fig. 30.)

21 Kaulquappen. Versuchsanordnung wie vorher. Aluminiumfilter 2 *mm*.

Fig. 30.



a) Sämtliche Tiere bestrahlt bis $40^1/_2$ X (unter Filter gemessen). Dann 7 Tiere entfernt und isoliert; alle leben;

b) die 14 restierenden Tiere bis zu $49^1/_2$ X weiter bestrahlt; Status am Schlusse der Bestrahlung: 1 tot, 13 leben;

c) von diesen 13 werden 7 weiter bestrahlt bis zu 57 X; Status am Schlusse der Bestrahlung: 6 tot, 1 lebt.

Nach 24 Stunden:

Status von Serie *a*)	2 tot	5 leben
„ „ „ *b*)	1 „	6 „
„ „ „ *c*)	6 „	1 lebt.

Ergebnis: Nach schwach gefilterter Bestrahlung sind am Schlusse der Sitzung:

Bei $40^1/_2$ X	von 21 Tieren	0 tot	=	0%
„ $49^1/_2$ X	„ 14 „	1 „	=	7%
„ 57 X	„ 7 „	6 „	=	81%

Zusammenfassung der Kaulquappenversuche.

Da wir aus äußeren Gründen nicht in der Lage waren, die Experimente innerhalb kürzerer Zeit durchzuführen, so mußten wir leider in den Kauf nehmen, daß die Kaulquappen derweil aus ihrem frühen Jugendstadium in ein späteres Entwicklungsstadium gelangten, in dem sie offenbar gegen das Röntgenlicht weniger empfindlich waren. Mit dem Anwachsen der Hinterbeine wurden sie direkt unbeeinflußbar und es schien die Fortführung der Versuche sogar wiederholt gefährdet, da die Versuchstiere in der Rheinebene um die vorgeschrittene Jahreszeit bereits ihr Kaulquappenstadium hinter sich hatten. Wir konnten uns nun zwar dadurch helfen, daß wir die Teiche höher gelegener Gegenden absuchten, in denen wegen der veränderten klimatischen Verhältnisse noch jugendliche Kaulquappenstadien zu finden waren, mußten aber damit leider den Einwand auf uns nehmen, daß wir ungleichwertige Objekte bei unseren Experimenten verwertet hätten.

In der Tat ist aus diesem Grunde ein zahlenmäßiger Vergleich nicht möglich; trotzdem glauben wir aber, bedingte Vergleiche hinsichtlich der mit und ohne Filter bestrahlten Tiere einer Herkunft anstellen zu dürfen. In diesem Sinne wären die folgenden Schlußfolgerungen zu verstehen.

Wir fanden also, wenn wir das Ergebnis unserer Experimente mit den Kaulquappen zusammenfassen wollen, verschiedene theoretisch und praktisch wichtige Tatsachen, die hier kurz angeführt seien.

1. Kaulquappen in jugendlichem Entwicklungsstadium sind genügend radiosensibel, um als Testobjekte für differente Strahlenwirkung zu gelten.

2. Eine gewisse Dosis ungefilterter Strahlung, die für die Tiere unschädlich ist, erweist sich in gefilterter Form appliziert bei Tieren derselben Herkunft und Größe als tödlich.

3. Es bedarf erst einer erheblichen Steigerung der ungefilterten Dosis, um die biologische Wirkung einer sehr viel schwächeren gefilterten Dosis zu erreichen.

4. Eine starke Strahlenfilterung (5 *mm*) scheint den gewünschten tödlichen Effekt schon mit einer relativ geringen Dosis zu ermöglichen; eine mittlere Filterdicke (3 *mm*) fordert eine erheblich größere Dosis und eine schwache (2 *mm*) bedarf einer noch weiteren Erhöhung.

5. Innerhalb der mit einer Filterdicke durchgeführten Versuchsreihe kann man einen gewissen Tiefenerfolg durch entsprechende Erhöhung der inkorporierten Strahlendosis entsprechend verbessern.

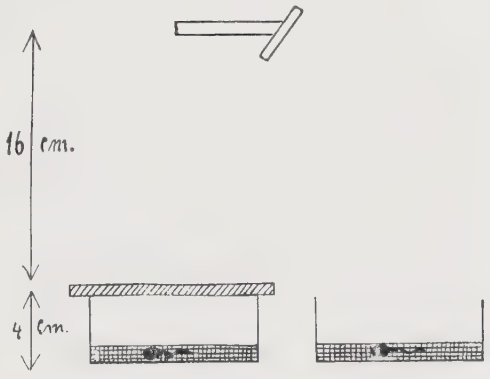
III. Eigene biologische Experimente über Sekundärstrahlung.

Tierversuche.

Wir haben selber Gelegenheit gehabt, die eben beschriebenen physikalischen Versuche über Sekundärstrahlung am Tierexperiment nachzuprüfen.

Als wir nämlich im weiteren Verlauf unserer Tierexperimente nach vierwöchiger Pause die Kaulquappenbestrahlungen von neuem aufnahmen, gelang es uns anscheinend infolge geringer oder verminderter Radiosensibilität der Tiere auffälligerweise überhaupt nicht mehr, eine Tötung durch Röntgenstrahlen zu erreichen. Wir verfielen nun darauf, die Strahlenwirkungen zu steigern, indem wir uns das Ergebnis des oben erwähnten Schraubenversuches nutzbar zu machen versuchten, zugleich in der Hoffnung, nicht nur die absolute Radiosensibilität der Tiere, sondern auch die relative Empfindlichkeit in der Differenz der Wirkung der gefilterten Strahlung zu erhöhen. Wenn es möglich wäre, in der Nähe der Tiere ein Filter anzubringen, das eine sehr intensiv wirkende Sekundärstrahlung aussendet, so müßten wir nämlich dadurch auch eine Verstärkung im biologischen Ausschlag der zu prüfenden Strahlung erhalten. Da nun Silber eine sehr intensive Sekundärstrahlung liefert, so schien es a priori außerordentlich aussichtsreich, feinstverteilte Silberpartikelchen in der Form des Collargols in die Nähe der Tiere zu bringen, oder am besten die Tiere in Collargol zu bestrahlen.

Fig. 31.



Es kam nun zunächst darauf an, diejenige Konzentration zu bestimmen, bei der die schädigende Wirkung des Collargols selber so gering war, daß seine strahlentransformierende Kraft ungetrübt zum

Ausdruck kam; je schwächer also die Konzentration war, desto reiner mußte, wenn das Collargol überhaupt noch einen Ausschlag gab, seine die Strahlenkraft erhöhende Wirkung sich zeigen.

Die Versuchsreihen sind geordnet nach der Konzentration des Collargols, die auf eine 2%ige Stammlösung zu beziehen sind. Wie bei den vorausgehenden Versuchen, so wurden auch hier die Kontrolltiere unter gleichen Bedingungen gehalten. Die Tiere wurden mit, bzw. ohne Filter gleichzeitig in einer Sitzung bestrahlt. Fig. 31 zeigt die Versuchsanordnung.

Collargolversuche.

Serie I.

Es werden je 10 Tiere in Collargollösung 1:25 der 2%igen Stammlösung gleichzeitig bestrahlt, u. zw.:

a) mit 3 *mm* Aluminiumfilter,

b) ohne Filter.

Die Flüssigkeit hat $^3/_4$ *cm* Höhe.

Abstand: Antikathodeflüssigkeitsspiegel 16 *cm*.

Dosis: 70 Minuten — 2 M. A. = 7 Bauer (Messung verloren).

Status am Schlusse der Bestrahlung:

unter Filter alle Tiere tot,

ohne Filter alle Tiere tot,

Kontrolltiere: 9 tot, 1 lebend.

Die chemisch-schädigende Collargolwirkung überwiegt bei dieser Konzentration die Röntgenwirkung so sehr, daß Differenzen im biologischen Effekt zwischen den gefilterten und ungefilterten Strahlen nicht erkennbar sind.

Serie II.

Je 5 Kaulquappen werden in einer Collargollösung 1:50 der 2%igen Stammlösung gleichzeitig bestrahlt

a) mit 3 *mm* Aluminiumfilter und

b) ohne Filter.

Dauer: 10 Minuten.

Dosis: über dem Filter 18 X,

unter „ „ 10 X,

Status am Schlusse der Bestrahlung:

a) von den mit 10 X gefilterter Strahlung beschickten Tieren sind 4 tot und 1 lebend,

b) von den mit 18 X ungefilterter Strahlung beschickten Tieren sind alle tot,

c) die Kontrolltiere sind alle lebend.

Ergebnis: Beim Vergleiche der biologischen Wirkung sind im vorstehenden Versuche einerseits für filterlose Bestrahlung 18 X, für gefilterte Bestrahlung dagegen natürlich nur 10 X anzunehmen, so daß die gefiltert bestrahlten Tiere nur etwas mehr als die halbe Dosis der ungefiltert bestrahlten Tiere erhielten. Wir mußten also eigentlich erwarten, daß sich auch der biologische Effekt etwa wie 1:2 verhielt, d. h. daß von gefiltert bestrahlten 50%, von den ungefiltert bestrahlten 100% getötet sind. Nun haben wir aber unter dem Filter 80% Mortalität, bei 100% Mortalität der filterlosen Bestrahlung. Daraus ergibt sich eine relativ stärkere Strahlenwirkung bei Filtergebrauch.

Serie III.

Je 6 Kaulquappen werden in Collargollösung 1:50 der 2%igen Stammlösung

a) mit 3 *mm* Aluminiumfilter und

b) ohne Filter bestrahlt.

Dauer 130 Minuten.

Dosis: über dem Filter 120 X,
unter „ „ 78 X,
unter dem mit ungefilterten Strahlen beschickten Glas (von 120 X oben) 80 X.

Status am Schlusse der Bestrahlung:

unter dem Filter: 2 sind tot, 4 leben,
ohne Filter: alle leben,
Kontrolltiere: alle leben,
nach 23 Stunden: unter Filter alle tot,
ohne „ „ leben,
Kontrolltiere „ „

Ergebnis: 78 X gefilterte Strahlung töteten von 6 Tieren während zweistündiger Bestrahlung 2 (= 33⅓% Mortalität) und schädigten die übrigen so stark, daß sie innerhalb 23 Stunden alle zu grunde gingen (100% Mortalität), während die ungefilterten Strahlen während und nach der Bestrahlung kein Tier zu töten vermochten, trotzdem ihnen entsprechend der Versuchsanordnung 1½fache Dosis appliziert war.

Serie IV.

Je 10 Kaulquappen werden in Collargollösung 1: 100 der 2%igen Stammlösung gleichzeitig bestrahlt. 1 Schale mit 3 *mm* dickem Aluminiumfilter, 1 Schale o h n e F i l t e r.

Abstand wie im Versuch vorher.

Dosis: 165 L. M. 2 M. A. 7 Bauer (Messung verloren gegangen),
unter dem Filter: alle Tiere tot,
ohne Filter: 3 leben, 7 tot.

Diese 3 lebenden Tiere wurden weiter bestrahlt. Nach weiteren 120 L. M. (also 285 von Anfang an) sind a l l e T i e r e t o t.

Die Kontrolltiere leben sämtlich.

E r g e b n i s: Trotz des im Filter erfolgten, durch Resorption bedingten Strahlenverlustes sind dadurch 100% der gefiltert bestrahlten gegenüber 70% der ungefiltert bestrahlten Tiere getötet. Die restierenden 30% der ungefiltert bestrahlten Kaulquappen bedürfen noch einmal einer gleichgroßen Dosis bis zur Tötung aller Tiere.

Serie V.

Je 10 Kaulquappen in Collargollösung 1: 150 der 2%igen Stammlösung werden

a) mit Filter 3 *mm* Aluminium und

b) ohne Filter bestrahlt.

Abstand wie im Versuch vorher.

Dauer 25 Minuten.

Dosis: 40 X,
über dem Filter gemessen 11 X,
unter „ „ „ 8 X,

unter dem mit ungefilterten Strahlen beschickten Glase 10 X (von 40 X oben).

S t a t u s a m S c h l u s s e d e r B e s t r a h l u n g:

a) mit Filter 3 tot, 7 lebend,

b) ohne Filter 1 tot, 9 lebend,

c) Kontrolltiere leben alle.

Nach 8 Stunden starben sowohl sämtliche bestrahlten Tiere als auch alle Kontrolltiere; da alle Gläser versehentlich dem Sonnenlicht ausgesetzt standen, so daß die vorher bräunlich durchsichtige Lösung milchig getrübt aussah, so wurde der j e t z t erfolgte Tod aller Tiere auf die Zersetzung der Collargollösung oder auf die Wärmewirkung bezogen.

E r g e b n i s: Von 40 X gehen durch Filtration mit 3 *mm* Aluminiumfilter 29 X verloren. Von den restierenden gefilterten 11 X

penetrierten $7^1/_2$ X = 68%, dem gegenüber penetrierten ohne Filter nur 10 X = 25% von 40 den Glasboden.

2. 40 X töteten bei Filtration 3 *mm* Aluminiumfilter 3 von 10 Tieren (30%), während 40 X ohne Filter nur 1 von 10 Tieren (10%) zu töten vermochten.

3. Bei Verwendung einer Collargollösung 1:150 (der 2%igen Stammlösung) tritt die direkte Collargolwirkung der Röntgenwirkung gegenüber in den Hintergrund. Der biologische Effekt der gefilterten Strahlen ist deutlich größer, als der der ungefilterten, da innerhalb von acht Stunden nach der Bestrahlung außer allen bestrahlten Tieren auch die Kontrolltiere selbst starben, so ist der Röntgeneffekt durch die Collargolwirkung noch zum Teil verdeckt.

Serie VI.

Je 5 Kaulquappen in Collargollösung 1:400 der 2%igen Stammlösung in 2 Schalen gleichzeitig bestrahlt. Außerdem werden 10 Kontrolltiere in gleiche Lösung gesetzt. Bestrahlung:

a) mit 3 *mm* Aluminiumfilter, *b)* ohne Filter.

Abstand wie vorher.

Dauer 4 Stunden.

Dosis: über dem Filter 103 X, unter dem Filter $45^1/_2$ X,

unter dem mit ungefilterten Strahlen beschickten Glase (oben 103 X) 29 X.

Status am Schlusse der Bestrahlung:

mit Filter alle Tiere tot,

ohne Filter alle Tiere lebend,

Kontrolltiere leben alle.

Ergebnis: $45^1/_2$ X töten bei Filtration mit 3 *mm* Aluminiumfilter von 10 Kaulquappen sämtliche (100%), während 103 X, also die mehr als doppelte ungefilterte Strahlendosis von den 10 Tieren keines sichtbar schädigte.

Resumee der Collargolversuche.

Bei der Konzentration 1:25 ist die Röntgenwirkung durch die Giftwirkung des Collargols zu sehr verdeckt, als daß ein Unterschied zwischen dem Effekt der ungefilterten und der Aluminiumgefilterten Strahlen erkennbar wäre.

In Versuch II ist bei Verdünnung 1:50 zwar eine Effekterhöhung zu gunsten des Filters vorhanden, aber nur in sehr geringem Maße.

Dagegen waren in Serie III bei der gleichen Konzentration die Tiere unter Filter deutlich stärker geschädigt, als ohne Filter.

Auch bei den Verdünnungen 1:100 bis 1:400 ist stets die Wirkung unter dem Filter ceteris paribus intensiver als ohne Filter.

Es hatte sich somit auch biologisch die Annahme als richtig erwiesen, daß es möglich sei, durch Benutzung eines zweckmäßig gewählten Strahlentransformators im Sinne *Walters* und *Barklas* (Silber) an geeigneter Stelle (peri- und intracorporal) einen stärkeren Ausschlag im Effekt der beiden zu untersuchenden Strahlungen zu erzwingen.

Daß unsere Überlegungen richtig gewesen sind, bewies nicht nur das Ergebnis der Collargolversuche, sondern wir fanden auch eine Bestätigung ihrer Richtigkeit durch die oben erwähnten *Barkla*schen physikalischen Versuche, die wir erst am Schlusse unserer Literaturstudien kennen lernten, als diese biologischen Untersuchungen längst abgeschlossen waren. Von besonderem Interesse war uns jener Versuch, der zeigte, daß man durch ganz lockere Imprägnation eines Fleischstückes mit Bismuth. carbonic. in diesem Gewebe die Ionisation auf das 30—50fache steigern kann, und daß auch *Barkla* für den biologischen Versuch dieselben Konsequenzen zog, wie wir sie aus dem Schraubenversuch gezogen hatten.

Das Gesamtergebnis der botanischen wie der zoologischen Versuche wär also dahin zusammen zu fassen:

1. Mit Aluminium gefilterte Strahlung wirkt ceteris paribus biologisch intensiver als eine ungefilterte Strahlung.

2. Eine bis 6 *mm* Aluminium gefilterte Strahlung erweist sich biologisch wirksamer als mit 3 *mm* Aluminium gefilterte.

Es stützen slso diese Versuche[1] die Verwendung des Aluminiumfilters in der Röntgentiefentherapie.

Es sei mir zum Schlusse gestattet, Herrn Geh. Hofrat Professor *Dr. Krönig* und Herrn Professor *Dr. Gauß* für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit und die liebenswürdige Unterstützung meinen Dank auszusprechen.

[1] Nachtrag bei der Korrektur: Die Arbeit von *Meyer* und *Ritter*, die nach Abschluß, wenn auch vor erledigter Drucklegung der „Röntgentiefentherapie" erschien, konnte keine eingehendere Berücksichtigung finden; außerdem wurde ein Vergleich der Ergebnisse beider Arbeiten durch die differente Versuchsanordnung erschwert. Die Arbeit von *Rost* und *Krüger*, in der ihre und unsere Resultate zueinander in Beziehung gesetzt werden, wurde erst während der Korrektur obiger Arbeit veröffentlicht.

Lebenslauf.

Ich, *Hermann Lembcke*, wurde am 12. November 1884 zu Zarrentin in Mecklenburg-Schwerin geboren, lebte dann später in Schwerin und absolvierte im September 1905 das dortige Realgymnasium. Darauf studierte ich Naturwissenschaften und Medizin in München, Kiel und Berlin, wo ich 1908 die Vorprüfung ablegte. Die klinischen Semester studierte ich in Berlin, München, Freiburg und bestand dort im Mai 1911 das medizinische Staatsexamen. Meine Medizinalpraktikantenzeit verbrachte ich an der Universitäts-Frauenklinik in Freiburg (Geh. Rat Professor *Dr. Krönig*) und an der II. medizinischen Universitätsklinik in München (Geh. Rat Professor *Dr. v. Müller*). Die mündliche Doktorprüfung absolvierte ich am 15. Dezember 1911.

Druck von Christoph Reisser's Söhne, Wien V

Verlag von Urban & Schwarzenberg Berlin und Wien.

Röntgentiefentherapie

ihre theoretischen Grundlagen, ihre praktische Anwendung und ihre klinischen Erfolge

an der

Freiburger Universitäts-Frauenklinik

von

Prof. Dr. C. J. Gauß und Dr. H. Lembcke

mit einem Vorwort

von

Geh. Rat Prof. Dr. B. Krönig
Direktor der Universitäts-Frauenklinik in Freiburg i. Br.

Mit 133 Textabbildungen

Preis **15 M = 18 K** broschiert, **17 M = 20 K 40 h** gebunden.

Selten ist ein Buch mit solcher Spannung erwartet worden wie dieses: Wußte man doch allerorten, daß dieses Werk im Werden sei! Die vielen kontroversen Fragen, welche zurzeit noch auf dem Gebiete der radiologischen Gynäkotherapie der Antwort harren, die Führerschaft von Gauß unter den Pfadfindern im Dunkel der Röntgengyniatrie sichern diesem Buche a priori einen weiten Interessentenkreis.

Die Autoren scheiden das groß angelegte Werk in drei Abschnitte, deren erster die theoretischen Grundlagen der Tiefentherapie festlegt, deren zweiter die praktische Anwendung darstellt und deren dritter die allmähliche Entwicklung der speziellen Technik an der Freiburger Klinik an der Hand der Krankenprotokolle wiedergibt. . . .

In der aus 205 Fällen sich zusammensetzenden Kasuistik wird der Effekt der verschiedenen Techniken dargestellt, wobei die eben beschriebene sich als allen überlegen erweist, da sie 100% Heilung ergibt. Die durchschnittlich applizierte Gesamtdosis beträgt jetzt 1480 X!

Wir stehen nach den in diesem Buche niedergelegten Berichten völlig neuen, bisher nicht für durchführbar gehaltenen Maßnahmen gegenüber. Sie dürfen nicht weggeleugnet werden, sondern müssen nachgeprüft werden. Die genaue Schilderung der angewandten Technik bietet hierzu die Möglichkeit.

Mag immerhin manche Hoffnung, welcher die Autoren in diesem Buche Ausdruck geben, unerfüllt bleiben, mancher Erfolg bei längerer Beobachtungsdauer (als der von den Autoren angeführten $^3/_4$jährigen) sich als trügerisch erweisen, die Konsequenz und der Fleiß, mit welchem Gauß und Lembcke ihren Weg durchmaßen, verdient volle Bewunderung. Dieses Buch wird eine Unsumme von Nachprüfungen, Publikationen die schwere Menge auslösen. — (Gynäkologische Rundschau.)